

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) . Int. Cl. (45) 공고일자 2006년11월03일
G02B 6/00 (2006.01) (11) 등록번호 10-0642035
(24) 등록일자 2006년10월27일

(21) 출원번호	10-2001-7006513	(65) 공개번호	10-2001-0101071
(22) 출원일자	2001년05월24일	(43) 공개일자	2001년11월14일
번역문 제출일자	2001년05월24일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP1999/006611	(87) 국제공개번호	WO 2000/31573
국제출원일자	1999년11월26일	국제공개일자	2000년06월02일

(81) 지정국 국내특허 : 오스트레일리아, 캐나다, 중국, 일본, 대한민국, 미국, 인도네시아, 인도,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스,

(30) 우선권주장	1998-335797	1998년11월26일	일본(JP)
	1999-93511	1999년03월31일	일본(JP)
	PCT/JP99/05855	1999년10월22일	일본(JP)

(73) 특허권자 스미토모덴키고교가부시키가이샤
일본 오사카후 오사카시 줌오쿠 기타하마 4초메 5반33고

(72) 발명자 카토타카토시
일본카나가와켄요코하마시사카에쿠다다니쥬1반지스미토모덴키고교가
부시키가이샤요코하마세이사쿠쇼나이

사사오카에이스케
일본카나가와켄요코하마시사카에쿠다다니쥬1반지스미토모덴키고교가
부시키가이샤요코하마세이사쿠쇼나이

타나카시게루
일본카나가와켄요코하마시사카에쿠다다니쥬1반지스미토모덴키고교가
부시키가이샤요코하마세이사쿠쇼나이

(74) 대리인 이병호
 정상구
 신현문
 이범래

심사관 : 한충희

FP00-0133
00KR-SE
07.12.28
ALLOWED

(54) 광 파이버 및 이를 포함하는 광 전송 시스템

요약

본 발명은 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대가 양호한 광 통신을 가능하게 하는 광 파이버 및 그것을 포함하는 광 전송 시스템에 관한 것이다. 본 발명에 따른 광 파이버는 파장 1.20 μm 내지 1.60 μm 의 범위에서 영 분산 파장을 1개만 갖고, 상기 영 분산 파장은 파장 1.37 μm 내지 1.50 μm 의 범위 내에 존재함과 동시에, 상기 영 분산 파장에서 양의 분산 슬로프를 갖는 것을 특징으로 하고 있고, 영 분산 파장을 낀 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대의 각 신호 광을 이용한 양호한 광 통신을 가능하게 한다.

대표도

도 1b

색인어

광 파이버, 영 분산 파장, 클래드, 굴절율, 코어

명세서

기술분야

본 발명은 광 통신에서의 전송로에 적용 가능한 광 파이버, 및 상기 광 파이버를 포함하는 광 전송 시스템에 관한 것이다.

배경기술

종래부터 광 통신에서의 전송로로서, 주로, 1.3 μm 파장대(1280nm 내지 1320nm)에 영 분산 파장을 갖는 표준 싱글 모드 광 파이버가 이용되어 왔다. 이러한 광 파이버의 주재료(실리카)에 기인한 전송 손실은 1.55 μm 파장대(1530nm 내지 1565nm)에서 최소가 되는 것이 알려져 있고, 부가하여, Er 첨가 광 파이버를 사용한 광 파이버 증폭기는 1.55 μm 파장대의 광을 고효율로 증폭할 수 있다. 이러한 이유로 인해, 1.55 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖도록 설계된 분산 시프트 광 파이버가, 복수 파장의 신호 광을 전송하는 파장 분할 다중(WDM: Wavelength Division multiplexing) 통신에서의 전송로에 적용되고 있다. 또한, 신호 광을 송출하는 광원에 관해서는 종래부터 1.3 μm 파장대의 광이나 1.55 μm 파장대의 광의 출력을 가능하게 하는 디바이스 기술이 확립되어 있다.

발명의 상세한 설명

발명자들은 상술의 종래 기술을 검토한 결과, 이하와 같은 과제를 발견하였다. 즉, 1.55 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 분산 시프트 광 파이버를 광 전송로로서, 1.3 μm 파장대의 신호 광을 전송하는 경우, 분산의 절대치가 커지기 때문에 광대역으로 WDM 통신을 행할 수 없다. 또한, 이러한 분산 시프트 광 파이버로 1.55 μm 파장대의 신호 광을 전송하는 경우, 분산의 절대치가 지나치게 작아지기 때문에 비선형 광학 현상의 하나인 4광파 혼합이 쉽게 발생된다. 한편, 1.3 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 표준적인 싱글 모드 광 파이버를 광 전송로로서, 1.3 μm 파장대의 신호 광을 전송하는 경우에도, 분산의 절대치가 지나치게 작아지기 때문에 비선형 광학 현상의 1개인 4광파 혼합이 쉽게 발생된다. 또한, 이러한 싱글 모드 광 파이버로 1.55 μm 파장대의 신호 광을 전송하는 경우에는 분산의 절대치가 커지기 때문에 광대역으로 WDM 통신을 행할 수 없다.

이에 반해, 넓은 파장 대역에 걸쳐 분산의 발생을 억제하는 광 파이버의 개발이 시도되고 있다(예를 들면, K. Okamoto et al., "Zero total in single-mode Optical fibers over an extended spectral range", Radio Science, Volum 17, Number 1, pages 31-36, January-February 1982 참조). 예를 들면, 클래드 영역과 코어 영역의 비굴절율 차를 2.4%로 크게 하고, 또한 코어 영역의 직경을 3.5 μm 로 작게 함으로써, 넓은 파장 대역에 걸쳐 분산치가 작은 광 파이버가 제안되어 있다. 그렇지만, 이러한 클래드 영역과 코어 영역의 비굴절율 차가 대단히 큰 광 파이버는 제조가 곤란하고, 전송 손실이 크다. 한편으로, 코어 영역의 직경이 작은 광 파이버에서는 실효 단면적이 작게 되고, 비선형 광학 현상도 쉽게 발생된다.

본 발명은 상술과 같은 과제를 해결하기 위해서 이루어진 것으로, 1.3 μm 파장대의 신호 광 및 1.55 μm 파장대의 신호 광 쌍방의 효율적인 전송을 가능하게 하는 광 파이버 및 그것을 포함하는 광 전송 시스템을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 발명에 따른 광 파이버는 1.3 μm 파장대의 신호 광 및 1.55 μm 파장대의 신호 광 쌍방의 효율적인 전송을 가능하게 하는 광 파이버로서, 파장 1.20 μm 내지 1.60 μm 의 범위에서 영 분산 파장을 1개만 가지며, 상기 영 분산 파장에서 양의 분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다. 또한, 상기 영 분산 파장은 1.3 μm 파장대와 1.55 μm 파장대로 좁혀진, 파장 1.37 μm 내지 1.50 μm 의

범위에 존재한다. 또한, 상기 분산 슬로프는 상기 영 분산 파장에서 그 절대치가 $0.10\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하(바람직하게는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하)인 것이 바람직하고, 적어도, 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 단조롭게 변화(예를 들면, 단조롭게 증가)하고 있다.

이와 같이, 해당 광 파이버는 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가가 인정되는 파장 $1.38\mu\text{m}$ 를 포함하는 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위로 영 분산 파장을 갖고 있기 때문에, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 근방 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 근방에서는 어느 정도 분산이 발생한다. 따라서, 이들 $1.3\mu\text{m}$ 파장대의 신호 광 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 신호 광이 전파하는 경우라도, 해당 광 파이버는 4광파 혼합은 발생하기 어려운 구조를 구비한다.

또한, 증폭 대역이 $1.47\mu\text{m}$ 파장대에 있는 틀림 첨가 파이버 증폭기를 이용하는 경우, 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.43\mu\text{m}$ 의 범위로 설정되는 것이 보다 바람직하다. OH 흡수 피크($1.38\mu\text{m}$)의 끝부분에 영 분산 파장을 맞게 함으로써, 더욱 전송 대역을 확대할 수 있기 때문이다. 한편, 탈수 처리 등을 실시함으로써 상기 OH 흡수 피크를 낮게 억제하고, 파장 $1.38\mu\text{m}$ 를 포함하는 파장 대역을 신호 광 파장 대역으로서 이용하는 경우에는 관계되는 파장 대역에서 의도적으로 분산을 발생시키기 위해, 영 분산 파장을 파장 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 크게 $1.50\mu\text{m}$ 이하의 범위로 설정하여도 된다.

해당 광 파이버에서, 분산 슬로프는 단조롭게 증가함과 동시에, 그 영 분산 파장에서의 분산 슬로프의 절대치는 $0.10\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하, 바람직하게는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프가 $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하인 것에서, $1.3\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산은 균일화된다. 이 때, 파장 $1.3\mu\text{m}$ 에서의 분산 절대치와, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 절대치는 어느 것이나 $6\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이상 또한 $12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하이다.

이상과 같이, 본 발명에 따른 광 파이버는 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 쌍방에서 효율적인 광 통신을 실현한다. 또한, 싱글 모드를 보증하는 관점에서, 전송로 길이가 수백 m 이하로 컷오프 파장이 $1.3\mu\text{m}$ 이하인 경우, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 각각에서 기저 모드 광 만을 전파할 수 있기 때문에 바람직하다. 또한, 비교적 장거리(전송로 길이가 수 km 이하)의 광 전송에서는 컷오프 파장의 거리 의존성을 고려하면, 컷오프 파장은 $1.45\mu\text{m}$ 이하(신호 광 파장보다도 긴 경우)라도 실용상의 문제는 없다. 한편, 굴절 손실을 저감하는 관점에서는 컷오프 파장이 $1.0\mu\text{m}$ 를 하회하면, 굴절 손실이 현저하게 증가하는 경우가 있다. 그러므로, 상기 컷오프 파장은 $1.05\mu\text{m}$ 이상, $1.30\mu\text{m}$ 이상인 것이 더욱 바람직하다.

또한, 본 발명에 따른 광 파이버는 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서 효율적인 광 전송을 가능하게 하기 위해, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, 직경 32mm 로 감겨졌을 때에 1턴당 0.5dB 이하, 바람직하게는 0.06dB 이하가 되는 굴절 손실을 가짐과 동시에, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $45\mu\text{m}^2$ 이상, 바람직하게는 $49\mu\text{m}^2$ 보다도 큰 실효 단면적(A_{eff})을 갖는다. 또한, 해당 광 파이버는 파장 $1.38\mu\text{m}$ 에서의 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가량이 0.1dB/km 이하이다. 특히, 파장 $1.38\mu\text{m}$ 에서의 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가량이 0.1dB/km 이하이면, 상기 파장 $1.38\mu\text{m}$ 근방의 파장 대역을 신호 광 파장 대역에 이용하는 것도 가능하다. 이 경우는 의도적으로 상기 파장 $1.38\mu\text{m}$ 근방의 파장 대역에 분산을 발생(4광파 혼합을 억제하기 위해서)시키기 위해서, 영 분산 파장을 파장 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 크고 또한 $1.50\mu\text{m}$ 이하의 범위 내에 설정하여도 된다.

또한, 실효 단면적(A_{eff})은 특개평8-248251호 공보(EP 0 724 171 A2)에 예시된 바와 같이, 이하의 식(1)으로 주어진다.

$$A_{\text{eff}} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right) \quad (1)$$

여기서, E는 전파 광에 동반하는 전계, r은 코어 중심에서의 직경 방향의 거리이다.

본 발명에 따른 광 파이버는 순 실리카(고의적으로 불순물이 첨가되지 않은 실리카)의 굴절율을 기준으로 한 비굴절을 차의 최대치가 1% 이하이고 최소치가 -0.5% 이상인 굴절을 프로파일로 갖는다. 이러한 굴절을 프로파일에서, 예를 들면 Ge 원소가 첨가된 고굴절을 영역의 순 실리카에 대한 비굴절을 차는 1% 이하이고, 예를 들면 F 원소가 첨가된 저굴절을 영역의 순 실리카에 대한 비굴절을 차는 -0.5% 이상이기 때문에, 제조(불순물 첨가에 의한 굴절율 제어)가 용이하고, 또한, 전송 손실을 작게 하는 것이 가능하게 된다. 또한, 순 실리카의 굴절율을 기준으로 한 비굴절을 차의 최소치가 -0.2% 이상, 보다 바람직하게는 -0.15% 보다도 크면, 해당 광 파이버의 제조를 쉽게 하는 점에서 더욱 바람직하다.

상술과 같은 여러 가지 특성을 갖는 광 파이버는 여러 가지의 구성에 의해서 실현된다. 즉, 해당 광 파이버의 제 1 구조는 소정축을 따라서 신장한 소정의 굴절율을 갖는 코어 영역과, 상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비한 구조

에 의해 실현된다. 상기 제 1 구조의 광 파이버는 디프레스트 클래드(depressed clade) 구조를 또한 구비하여도 된다. 디프레스트 클래드 구조는 상기 클래드 영역을 상기 코어 영역의 외주에 설치하고, 상기 코어 영역보다도 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치하고, 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 코어 영역보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드로 구성함으로써 실현된다.

해당 광 파이버의 제 2 구조도 제 1 구조와 마찬가지로 코어 영역과 상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비한다. 단지, 상기 코어 영역은 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 상기 제 1 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 2 코어로 구성된다. 상기 제 2 구조의 광 파이버가 디프레스트 클래드 구조를 구비하는 경우에는 상기 클래드 영역은 상기 제 2 코어의 외주에 접하고 또한 상기 제 2 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고, 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드로 구성된다.

해당 광 파이버의 제 3 구조는 제 1 구조와 마찬가지로 소정 축을 따라서 신장한 코어 영역과, 상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비하여, 특히, 상기 코어 영역은 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 상기 제 2 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 3 코어를 구비한다. 단지, 상기 제 3 구조의 광 파이버가 디프레스트 클래드 구조를 구비하는 경우에는 상기 클래드 영역은 상기 제 3 코어의 외주에 접하며 또한 상기 제 3 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고, 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 3 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드로 구성된다.

상술과 같은 제 3 구조의 적용에 의해, 특히 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 이하의 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버를 쉽게 얻게 된다.

또한, 해당 광 파이버의 제 4 구조도 소정 축을 따라서 신장한 코어 영역과, 상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비하며, 특히, 상기 코어 영역은 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 2 코어를 구비한다. 상기 제 4 구조의 광 파이버가 디프레스트 클래드 구조를 구비하는 경우에는 상기 클래드 영역은 상기 제 2 코어의 외주에 접하며 또한 상기 제 2 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고, 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드로 구성된다.

해당 광 파이버의 제 5 구조는 소정 축을 따라서 신장한 코어 영역과, 상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비하며, 특히, 상기 코어 영역은 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 상기 제 3 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 4 코어로 이루어지는 코어 영역을 구비한다. 상기 제 5 양태에 광 파이버에서, 상기 클래드 영역은 상기 제 4 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는다.

본 발명에 따른 광 전송 시스템은 상술과 같은 구조를 구비한 광 파이버에 의해 실현된다. 구체적으로, 본 발명에 따른 광 전송 시스템은 $1.3\mu\text{m}$ 파장대의 제 1 광을 출력하는 제 1 송신기와, $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 제 2 광을 출력하는 제 2 송신기와, 상기 제 1 송신기로부터 출력된 제 1 광 및 상기 제 2 송신기로부터 출력된 제 2 광을 합파하는 합파기와, 상기 제 1 합파기에 그 일단이 광학적으로 접속된, 상술의 구조를 구비한 광 파이버를 적어도 구비한다. 이 구성에 의해, 해당 광 파이버는 합파기에 의해 합파된 제 1 광 및 제 2 광 각각을 전송한다. 이상과 같은 구성을 구비한 광 전송 시스템에 의하면, 제 1 송신기로부터 출력된 $1.3\mu\text{m}$ 파장대의 제 1 광은 합파기를 거쳐서 상기 광 파이버에 입사되며, 상기 광 파이버내를 수신 시스템을 향하여 전파한다. 한편, 제 2 송신기로부터 출력된 $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 제 2 광은 합파기를 거쳐서 광 파이버에 입사되어, 상기 광 파이버내를 수신 시스템을 향하여 전파한다. 광 전송로에 적용되는 광 파이버는 상술과 같이, 또한, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 중 어느 하나에서도 효율적인 광 통신을 가능하게 하는 구조를 구비하고 있고, 상술과 같은 특수 구조를 구비한 광 파이버가 적용됨으로써, 해당 광 전송 시스템은 대용량 통신을 가능하게 한다.

도면의 간단한 설명

도 1a는 본 발명에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프.

도 1b는 본 발명에 따른 광 파이버의 파장에 대한 분산 특성을 도시하는 그래프.

도 2a는 본 발명에 따른 광 파이버의 제 1 및 제 13 실시예의 단면 구조를 도시하는 도면.

도 2b는 도 2a에 도시된 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 3은 제 2 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 4는 제 3, 제 15 및 제 17 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 5는 제 4 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 6은 제 5, 제 16, 제 18, 제 19 및 제 21 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 7은 제 6, 제 20 및 제 22 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 8은 제 7 및 제 8 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 9는 제 9 및 제 10 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 10은 제 11 및 제 12 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일.

도 11은 도 2b, 도 3 내지 도 10에 도시된 바와 같은 여러 가지의 굴절율 프로파일을 갖는 제 1 내지 제 13 실시예에 따른 광 파이버의 여러 가지 특성을 정리한 표.

도 12는 제 14 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버의 여러 가지 특성을 정리한 표.

도 13은 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 분산 특성을 도시하는 그래프.

도 14는 탈수 처리가 불충분했던 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프.

도 15는 탈수 처리가 충분히 행하여진 제 1 및 제 13 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프.

도 16은 탈수 처리가 불충분했던 제 13 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프.

도 17a는 주로 제 18 내지 제 22 실시예에 관해서, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})과 분산 슬로프의 관계를 도시하는 그래프.

도 17b는 주된 실시예에 관해서, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 컷오프 파장(λ_c)과 직경 32mm로 굴절되었을 때의 1턴당의 굴절 손실과의 관계를 도시하는 그래프.

도 18a는 본 발명에 따른 광 전송 시스템의 개략 구성을 도시한 도면.

도 18b는 본 발명에 따른 광 전송 시스템의 변형 예를 도시하는 도면.

실시예

이하, 본 발명에 따른 광 파이버 및 광 전송 시스템의 각 실시예를 도 1a 내지 도 2b, 도 3 내지 16, 및 도 17a 내지 도 18b를 참조하여 설명한다. 또한, 도면 중의 동일 요소에는 동일한 부호를 붙여 중복하는 설명을 생략한다.

먼저, 도 1a는 본 발명에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프이고, 도 1b는 본 발명에 따른 광 파이버의 파장에 대한 분산 특성을 도시하는 그래프이다.

본 발명에 따른 광 파이버는 영 분산 파장을 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에 1개만 갖고, 상기 영 분산 파장이 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재한다. 도 1a의 그래프에 도시된 바와 같이, OH 흡수에 기인한 전송 손실이 파장 $1.38\mu\text{m}$ 부근에서 발생하므로(예를 들면, KAZUHIRO NOGUCHI et al., "Loss Increase for Optical Fibers Exposed to Hydrogen Atmosphere", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. LT-3, NO. 2, APRIL 1985 참조), 이 파장 근방의 신호 광의 광 통신에의 이용은 반드시 바람직하지 못하다. 그래서, 본 발명에 따른 광 파이버에서는 도 1b에 도시된 바와 같이, OH 흡수에 기인한 전송 손실이 생기는 파장 $1.38\mu\text{m}$ 를 포함하는 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.43\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영 분산 파장이 설정되고, 반대로, 상기 파장 범위에 삽입되는 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 근방 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 근방에의 영 분산 파장의 설정이 회피되고 있다. 또한, 파장 $1.38\mu\text{m}$ 를 포함하는 이 파장대를 신호 광 파장 대역으로서 이용하는 경우에는 영 분산 파장을 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 크고 또한 $1.50\mu\text{m}$ 이하의 범위 내로 설정하여도 된다. 이와 같이, 본 발명에 따른 광 파이버는 영 분산 파장을 포함하는 소정의 파장 대역을 피한 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대가 신호 광 파장 대역으로서 이용됨으로써, 이들 파장 대역에서 의도적으로 분산을 발생시키고, 반대로 4광파 혼합의 발생을 효과적으로 억제하고 있다. 상술과 같이, $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.43\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영 분산 파장을 설정하면, 증폭 대역이 $1.47\mu\text{m}$ 파장대에 있는 틀림 첨가 파이버 증폭기를 이용함으로써 더욱 전송 대역을 확대할 수 있다. 한편, 탈수 처리 등을 실시함으로써 상기 OH 흡수 피크를 낮게 억제하고, 파장 $1.38\mu\text{m}$ 를 포함하는 파장 대역을 신호 광 파장 대역으로서 이용하는 경우에는 관계되는 파장 대역에서 의도적으로 분산을 발생시키기 위해, 영 분산 파장을 파장 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 큰 $1.50\mu\text{m}$ 이하의 범위로 설정하여도 된다.

또한, 본 발명에 따른 광 파이버는 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프의 절대치가 $0.10\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 이하(바람직하게는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 이하)이고, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 각각에서의 분산의 균일화가 실현된다. 이 때, 해당 광 파이버에서는 파장 $1.3\mu\text{m}$ 에서의 분산 $D_{1.3}$ 의 절대치, 및 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 $D_{1.55}$ 의 절대치 각각이 그것이, $6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 이상 $12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 이하이다. $1.3\mu\text{m}$ 파장대에 영 분산 파장을 갖는 표준적인 싱글 모드 광 파이버의 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산치가 $17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 정도인 것을 고려하여도, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 각각에서의 해당 광 파이버의 분산의 절대치는 충분히 작기 때문에($12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 이하), 광 통신의 이용에 보다 적합하다. 한편, 이들 파장 대역에서는 적절히 분산이 발생하기 때문에($6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 이상), 4광파 혼합의 발생을 효과적으로 피할 수 있다.

또한, 본 발명에 따른 광 파이버는 전송로 길이가 수백 m 이하로 컷오프 파장이 $1.3\mu\text{m}$ 이하인 것이 싱글 모드를 보증하는 관점에서 바람직하다. 이 경우, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 각각에서 기저 모드 광만을 전파할 수 있다. 비교적 장거리(전송로 길이가 수 km 이하)의 전송에서는 컷오프 파장의 거리 의존성을 고려하면, 컷오프 파장은 $1.45\mu\text{m}$ 이하이어도 된다. 또한, 본 명세서에서, 컷오프 파장은 CCITT 규격에 규정되어 있는 바와 같이, 길이 2m의 광 파이버를 반경 140mm로 1턴만 감은 상태에서 측정된 LP11 모드의 컷오프 파장이다. 또한, 굴절 손실을 저감하는 관점에서는 컷오프 파장이 $1.0\mu\text{m}$ 를 하회하면, 굴절 손실이 현저하게 증가하는 경우가 있다. 그러므로, 상기 컷오프 파장은 $1.05\mu\text{m}$ 이상, $1.30\mu\text{m}$ 이상인 것이 보다 바람직하다.

이상과 같이, 본 발명에 따른 광 파이버는 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대의 쌍방을 피한 파장 범위에 영 분산 파장을 설정하고, 또한 각 파장 대역에서의 분산치가 작은 싱글 모드 광 파이버이기 때문에, 복수의 파장 대역을 이용한 광 통신 시스템의 전송 매체에 적합하다.

본 발명에 따른 광 파이버는 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프가 단조롭게 변화하는 것이 바람직하다(도 1b에 도시된 케이스에서는 단조롭게 증가). 이 경우, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영 분산 파장을 1개만 설정하는 것이 가능하고, 추가하여, $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대 각각에서의 분산이 영에 가까운 것이 없는 점에서도 바람직하다(분산이 영에 가까우면 비선형 광학 현상이 쉽게 생기게 된다).

본 발명에 따른 광 파이버는 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실이 $0.5\text{dB}/\text{턴}$ 이하, $0.06\text{dB}/\text{턴}$ 이하인 것이 보다 바람직하다. 이 경우, 굴절 손실이 충분히 작기 때문에, 케이블화 등에 기인한 손실 증가를 효과적으로 억제할 수 있다. 또한, 이 굴절 손실($\text{dB}/\text{턴}$)은 직경 32mm의 만드렐(mandrel)에 감겨진 광 파이버에 관해서, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 의 광의 전송 손실을 1턴당의 손실치로 환산한 값이다.

본 발명에 따른 광 파이버는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})가 $45\mu\text{m}^2$ 이상, $49\mu\text{m}^2$ 보다도 큰 것이 더욱 바람직하다. 이 값은 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에 영 분산 파장을 갖는 종래의 분산 시프트 광 파이버에서의 실효 단면적과 동등 이상이고, 단위 단면적 당의 광 강도가 작아지기 때문에, 4광파 혼합 등의 비선형 광학 현상의 발생이 효과적으로 억제된다.

본 발명에 따른 광 파이버는 파장 1.38 μm 에서의 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가량(α)이 0.1dB/km 이하인 것이 바람직하다. 광 통신에 적용 가능한 파장 대역이 넓어지고, 또한 대용량 광 통신이 가능해지기 때문이다. 또한, 파장 1.38 μm 를 포함하는 파장 대역을 신호 광 파장 대역으로서 이용하는 경우에는 비선형 광학 현상의 발생을 억제하기 때문에, 상기 파장 대역을 피한 파장 1.45 μm 보다도 크고 또한 파장 1.50 μm 이하의 범위 내에 영 분산 파장을 설계하는 것이 바람직하다.

본 발명에 따른 광 파이버는 순 실리카(고의적으로 불순물이 첨가되어 있지 않은 실리카)의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최대치가 1% 이하이고 최소치가 -0.5% 이상인 굴절율 프로파일을 갖는 것이 바람직하다. 예를 들면, Ge 원소가 첨가되는 고굴절율 영역의 순 실리카에 대한 비굴절율 차는 1% 이하이고, 예를 들면 F 원소가 첨가되는 저굴절율 영역의 순 실리카에 대한 비굴절율 차는 -0.5% 이상이므로, 제조가 비교적 용이하고, 또한, 전송 손실이 작은 광 전송 매체가 얻어진다. 또한, 보다 제조를 쉽게 하기 위해서는 순 실리카의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최소치는 -0.2%이상, 보다 바람직하게는 -0.15%보다도 큰 것이 바람직하다.

다음에, 본 발명에 따른 광 파이버의 제 1 내지 22 실시예를 도 2a, 도 2b, 및 도 3 내지 도 10을 참조하여 설명한다.

(제 1 실시예)

도 2a는 제 1 실시예에 따른 광 파이버(100)의 단면 구조를 도시하는 도면이고, 도 2b는 도 1a에 도시된 광 파이버(100)의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 1 실시예에 따른 광 파이버(100)는 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 코어 영역(110)과, 상기 코어 영역(110)의 외주에 설치된 굴절율(n_2)을 ($<n_1$) 갖는 클래드 영역(120)을 구비한다. 또한, 코어 영역(110)의 굴절율은 클래드 영역(120)의 굴절율보다도 크다. 코어 영역(110)의 외부 직경(2a)은 5.2 μm 이고, 클래드 영역(120)을 기준으로 한 코어 영역(110)의 비굴절율 차(Δ_1)는 0.55%이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 코어 영역(110)에 Ge 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

도 2b에 도시된 굴절율 프로파일(150)의 형상은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 2b의 굴절율 프로파일(150)에서, 영역(151)은 코어 영역(110)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(152)은 클래드 영역(120)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 각각 도시하고 있다.

또한, 최외곽의 클래드 영역(120)에 대한 코어 영역(110)의 비굴절율 차(Δ_1)는 아래와 같이 정의된다.

$$\Delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2$$

여기서, n_1 은 코어 영역(110)의 굴절율, n_2 는 클래드 영역(120)의 굴절율이다. 또한, 본 명세서에서는 비굴절율 차(Δ)는 백분율로 표시되어 있고, 상기 정의식에서의 각 영역의 굴절율은 순부동이다. 따라서, Δ 가 음의 값인 경우, 대응하는 영역의 굴절율은 클래드 영역(120)의 굴절율보다도 낮은 것을 의미한다.

상기 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 1.44 μm 이고, 파장 1.20 μm 내지 1.60 μm 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 0.060ps/nm²/km, 파장 1.55 μm 에서의 분산 슬로프는 0.054ps/nm²/km, 컷오프 파장이 0.96 μm 이다. 또한, 적어도 파장 1.30 μm 내지 1.55 μm 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 1.20 μm 에서의 분산이 -18.5ps/nm/km, 파장 1.30 μm 에서의 분산이 -9.6ps/nm/km, 파장 1.45 μm 에서의 분산이 0.6ps/nm/km, 파장 1.55 μm 에서의 분산이 6.2ps/nm/km, 파장 1.60 μm 에서의 분산이 8.8ps/nm/km이다. 또한, 직경 32mm에서 감겨졌을 때의 파장 1.55 μm 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.06dB이고, 파장 1.55 μm 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 49.1 μm^2 이다.

(제 2 실시예)

다음에, 도 3은 제 2 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 2 실시예에 따른 광 파이버의 기본 구조는 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 유사하고, 도 2a에 도시된 클래드 영역(120)이 디프레스트 클래드 구조를 갖는 점이 제 1 실시예와 다르다. 도 2a를 참조하여 설명하면, 제 2 실시예에 따른 광 파이버는 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 코어 영역(110)과, 상기 코어 영역(110)의 외주에 설치된 클래드 영역(120)을 구비하고 있다. 상기 클래드 영역(120)은 코어 영

역(110)에 접하여 설치되고 또한 굴절율(n_3)($< n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치된 굴절율(n_2)($< n_1$, $> n_3$)을 갖는 외측 클래드에 의해 구성되어 있다. 또한, 코어 영역(110)의 외부 직경(2a)은 $5.2\mu\text{m}$ 이고, 내측 클래드의 외부 직경(2b)은 $10.9\mu\text{m}$ 이다. 또한, 외측 클래드 영역의 굴절율(n_2)을 기준으로 한 코어 영역의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_2)/n_2$)는 0.55%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_2)/n_2$)는 -0.05%이다. 이러한 광 파이버는 실리콘 베이스로 하여, 예를 들면, 코어 영역에 Ge 원소가 첨가되고, 내측 클래드에 F 원소가 첨가됨으로써 얻어진다.

도 3에 도시된 굴절율 프로파일(250)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(250)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 3의 굴절율 프로파일(250)에서, 영역(251)은 코어 영역(110)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(252)은 클래드 영역(120)을 구성하는 내측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(253)은 클래드 영역(120)을 구성하는 외측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 각각 나타내고 있다.

상기 제 2 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.46\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.053\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.049\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $0.93\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -18.5ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.1ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -0.5ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 4.3ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 6.7ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.20dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $47.2\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 3 실시예)

도 4는 제 3 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 2 실시예에 따른 광 파이버의 기본 구조도 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 유사하고, 도 2a에 도시된 코어 영역(110)이 제 1 코어와 제 2 코어로 구성된 점이 제 1 실시예와 다르다. 도 2a를 참조하여 제 3 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 코어 영역(110)은 광축 중심에 최대 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어를 구비한다. 제 2 코어의 외주에 설치된 클래드 영역(120)의 굴절율은 n_3 ($< n_2$)이다.

도 4에 도시된 굴절율 프로파일(350)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(350)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 4의 굴절율 프로파일(350)에서, 영역(351)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(352)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(353)은 클래드 영역(120)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.4\mu\text{m}$ 이고, 제 2 코어 영역의 외부 직경(2b)은 $16.0\mu\text{m}$ 이다. 클래드 영역(120)의 굴절율(n_3)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 0.60%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.10%이다. 이러한 광 파이버는 실리콘 베이스로 하여, 예를 들면, 제 1 코어 및 제 2 코어 각각에 적절한량의 Ge 원소가 첨가됨으로써 얻어진다.

상기 제 3 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.42\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.079\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.070\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.19\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -20.8ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.6ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.1ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.3ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 12.8ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.006dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $63.6\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 4 실시예)

도 5는 제 4 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 4 실시예에 따른 광 파이버도 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 마찬가지로 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)을 구비한다. 단지, 클래드 영역(120)이 디프레스트 구조를 구비

하는 점에서 상술의 제 3 실시예와 다르다. 도 2a를 참조하여 제 4 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 제 3 실시예와 마찬가지로, 코어 영역(110)은 광 축 중심에 최대 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어를 구비하고 있다. 클래드 영역(120)은 제 2 코어의 외주에 접하여 설치되고 또한 굴절율(n_4)($< n_2$)을 갖는 외부 직경(2c)의 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_4$, $< n_2$)을 갖는 외측 클래드를 구비한다.

도 5에 도시된 굴절율 프로파일(450)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(450)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 5의 굴절율 프로파일(450)에서, 영역(451)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(452)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(453)은 클래드 영역(120)을 구성하는 내측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(454)은 클래드 영역(120)을 구성하는 외측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 나타내고 있다. 또한, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.3\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $16.1\mu\text{m}$, 내측 클래드의 외부 직경(2c)은 $28.8\mu\text{m}$ 이다. 순 실리카의 외측 클래드의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 0.60%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.10%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_4=(n_4-n_3)/n_3$)는 -0.05% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 1 코어 및 제 2 코어 각각 적절한량의 Ge 원소를 첨가하여, 내측 클래드에 F 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 4 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.081\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.070\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.15\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -20.3ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -9.9ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 3.1ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 10.2ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 13.7ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.004dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $62.0\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 5 실시예)

도 6은 제 5 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 5 실시예에 따른 광 파이버의 기본 구조도 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 유사하고, 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)으로 구성되어 있다. 도 2a에 도시된 제 5 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 클래드 영역(120)에 둘러싸인 코어 영역(110)은 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 외부 직경(2c)의 제 3 코어를 구비한다. 제 3 코어의 외주에 설치된 클래드 영역(120)의 굴절율은 n_4 ($< n_1$, $< n_3$)이다.

도 6에 도시된 굴절율 프로파일(550)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(550)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 6의 굴절율 프로파일(550)에서, 영역(551)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(552)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(553)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 3 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(554)은 클래드 영역(120)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $5.3\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $10.0\mu\text{m}$, 제 3 코어 영역의 외부 직경(2c)은 $16.6\mu\text{m}$ 이다. 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.58%, 제 2 코어의 비굴절율 차는 $n_2=n_4$ 로 설정되어 있기 때문에 0%, 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.14% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 1 코어 및 제 3 코어 각각 적절한량의 Ge 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 5 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.48\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.064\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.064\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.24\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -20.3ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -11.9ps/nm/km .

파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -1.9ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 4.8ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 8.0ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32nm 로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.0008dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $53.9\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 6 실시예)

도 7은 제 6 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 상기 제 6 실시예에 따른 광 파이버의 기본 구조도 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 마찬가지로 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)을 구비한다. 단지, 클래드 영역(120)이 디프레스트 클래드 구조를 구비하고 있는 점이 제 5 실시예와 다르다. 도 2a를 참조하여 제 6 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 코어 영역(110)은 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)을($<n_1$) 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)을($<n_1, >n_2$) 갖는 외부 직경(2c)의 제 3 코어를 구비한다. 디프레스트 클래드 구조의 클래드 영역(120)은 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율 n_3 ($<n_3$)을 갖는 외부 직경(2d)의 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치된 굴절율(n_4)($<n_3, >n_5$)을 갖는 외측 클래드를 구비한다.

도 7에 도시된 굴절율 프로파일(650)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(650)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 7의 굴절율 프로파일(650)에서, 영역(651)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(652)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(653)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 3 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(654)은 클래드 영역(120)을 구성하는 내측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(655)은 클래드 영역(120)을 구성하는 외측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 나타내고 있다. 또한, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $5.7\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $16.2\mu\text{m}$, 제 3 코어 영역의 외부 직경(2c)은 $23.0\mu\text{m}$ 이고, 내측 클래드의 외부 직경(2d)은 $34.4\mu\text{m}$ 이다. 또한, 외측 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.50% , 제 2 코어의 비굴절율 차는 $n_2=n_4$ 로 설정되어 있기 때문에 0% , 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.16% , 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_5=(n_5-n_4)/n_4$)는 -0.10% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 1 코어 및 제 3 코어 각각 적절한량의 Ge 원소를 첨가하여, 내측 클래드에 F 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 6 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.42\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.056\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.052\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.23\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -16.4ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -7.9ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 1.6ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 6.6ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.2ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32nm 로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.02dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $57.1\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 7 및 제 8 실시예)

도 8은 제 7 및 제 8 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 이들 제 7 및 제 8 실시예는 동일 구조를 구비하며, 어느 것이나 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 마찬가지로 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)을 구비한다. 도 2a를 참조하여 제 7 및 제 8 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 코어 영역(110)은 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($>n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어를 구비한다. 제 2 코어의 외주에 설치된 클래드 영역(120)의 굴절율은 n_3 ($<n_2$)이다.

도 8에 도시된 굴절율 프로파일(750)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(750)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 8의 굴절율 프로파일(750)에서, 영역(751)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(752)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(753)은 클래드 영역(120)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 나타내고 있다.

또한, 제 7 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $2.8\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $5.6\mu\text{m}$ 이다. 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차(Δ_1)는 $n_1=n_3$ 로 설정되기 때문에 0%이고, 제 2 코어 영역의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.7%이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 2 코어에 Ge 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 7 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.075\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.061\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.10\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -20.1ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -9.3ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 3.0ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.4ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 12.4ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.3dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $67.3\mu\text{m}^2$ 이다.

한편, 제 8 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $3.2\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $6.4\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 -0.2%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.7%이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 1 코어에 F 원소를 첨가하여, 제 2 코어에 Ge 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 8 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.42\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.084\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.068\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.17\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -22.9ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -11.1ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.4ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.9ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 13.2ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.2dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $79.1\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 9 및 제 10 실시예)

도 9는 제 9 및 제 10 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 이들 제 9 및 제 10 실시예는 동일 구조를 구비하며, 어느 것이나 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 마찬가지로 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)을 구비한다. 단지, 이들 제 9 및 제 10 실시예는 클래드 영역(120)이 프레스트 클래드 구조를 구비하고 있는 점에서 제 7 및 제 8 실시예와 다르다. 도 2a를 참조하여 제 9 및 제 10 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 코어 영역(110)은 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)을 ($>n_1$) 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어를 구비한다. 프레스트 클래드 구조를 구비하는 클래드 영역은 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($<n_1$)을 갖는 외부 직경(2c)의 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치된 굴절율(n_3)($>n_4$)을 갖는 외측 클래드를 구비한다.

도 9에 도시된 굴절율 프로파일(850)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(850)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 9의 굴절율 프로파일(850)에서, 영역(851)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(852)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(853)은 클래드 영역(120)을 구성하는 내측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(854)은 클래드 영역(120)을 구성하는 외측 클래드의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 나타내고 있다.

또한, 제 9 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $3.8\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $7.1\mu\text{m}$, 내측 클래드의 외부 직경(2c)은 $10.6\mu\text{m}$ 이다. 외측 클래드의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차(Δ_1)는 $n_1=n_3$ 로 설

정하고 있기 때문에 0%이고, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.7%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_4=(n_4-n_3)/n_3$)는 -0.2% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 2 코어에 Ge 원소를 첨가하여, 내측 클래드에 F 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 9 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.42\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.077\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.061\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.22\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -21.6ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.2ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.2ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.1ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 $12.1\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.2dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $73.5\mu\text{m}^2$ 이다.

한편, 제 10 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $2.6\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $6.4\mu\text{m}$, 내측 클래드의 외부 직경(2c)은 $9.6\mu\text{m}$ 이다. 외측 클래드의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 -0.2%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.7%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_4=(n_4-n_3)/n_3$)는 -0.2% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 2 코어에 Ge 원소를 첨가하여, 제 1 코어 및 내측 클래드 각각에 F 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 10 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.44\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.070\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.058\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.18\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -21.5ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.8ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 0.7ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 7.3ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 10.1ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.03dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $59.6\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 10 및 제 11 실시예)

도 10은 제 11 및 제 12 실시예에 따른 광 파이버의 굴절율 프로파일이다. 이들 제 9 및 제 10 실시예는 동일 구조를 구비하며, 어느 것이나 도 2a에 도시된 제 1 실시예와 마찬가지로 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)을 구비한다. 도 2a를 참조하여 제 11 및 제 12 실시예에 따른 광 파이버의 구조를 설명하면, 코어 영역(110)은 소정 축을 따라서 신장한 굴절율(n_1)을 갖는 외부 직경(2a)의 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($>n_1$)을 갖는 외부 직경(2b)의 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($<n_2$)을 갖는 외부 직경(2c)의 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($<n_2, >n_3$)을 갖는 외부 직경(2d)의 제 4 코어를 구비한다. 제 4 코어의 외주에 설치된 클래드 영역(120)의 굴절율은 n_5 ($<n_4$)이다.

도 10에 도시된 굴절율 프로파일(950)과 도 2a에 도시된 단면 구조의 관계에 관해서 설명하면, 상기 굴절율 프로파일(950)의 횡축은 도 2a 중의 선(L)에 따른 코어 영역(110)의 중심축에 대하여 수직인 단면상의 각 부위에 상당하고 있다. 따라서, 도 10의 굴절율 프로파일(950)에서, 영역(951)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 1 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(952)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 2 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(953)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 3 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(954)은 코어 영역(110)을 구성하는 제 4 코어 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율, 영역(955) 클래드 영역(120)의 선(L)상의 각 부위에서의 굴절율을 나타내고 있다.

또한, 제 11 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $2.7\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $5.4\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $8.1\mu\text{m}$ 이고, 제 4 코어의 외부 직경(2d)은 $10.8\mu\text{m}$ 이다. 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차(Δ_1)는 $n_1=n_3$ 로 설정되기 때문에 0%, 제 2 코어 영역의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_5)/n_5$)는 0.8%, 제 3

코어의 비굴절율 차(Δ_3)는 $n_3=n_5$ 로 설정되어 있기 때문에 0%, 제 4 코어의 비굴절율 차($\Delta_4=(n_4-n_5)/n_5$)는 0.1%이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 2 코어 및 제 4 코어 각각에 Ge 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 11 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.42\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.080\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.16\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -21.8ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.5ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.3ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.5ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 12.7ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.005dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $62.6\mu\text{m}^2$ 이다.

한편, 제 12 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $3.2\mu\text{m}$, 제 2 코어 영역의 외부 직경(2b)은 $7.0\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $9.0\mu\text{m}$, 제 4 코어의 외부 직경(2d)은 $12.8\mu\text{m}$ 이다. 클래드 영역의 굴절율을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_5)/n_5$)는 -0.2% , 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_5)/n_5$)는 0.6% , 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_5)/n_5$)는 -0.2% , 제 4 코어의 비굴절율 차($\Delta_4=(n_4-n_5)/n_5$)는 0.1% 이다. 이러한 광 파이버는 실리카를 베이스로 하여, 예를 들면, 제 2 코어 및 제 4 코어 각각에 Ge 원소를 첨가하여, 제 1 코어 및 제 3 코어 각각에 F 원소를 첨가함으로써 얻어진다.

상기 제 12 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.088\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.071\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.22\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -22.5ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -10.6ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 3.4ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 11.0ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 14.5ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.4dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $92.7\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 13 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 13 실시예는 기본적으로 도 2a 및 도 2b에 도시된 바와 같은 단면 구조 및 굴절율 프로파일을 갖는다. 단지, 상기 제 13 실시예에 따른 광 파이버는 실리카를 기초로 하여 코어 영역(110)을 제외하는 클래드 영역(120)에 불소(굴절율 저하제)를 첨가함으로써, 코어 영역(110)과 클래드 영역(120)의 사이에 상대적으로 굴절율의 차를 생기게 하고 있는 점에서 제 1 실시예와 다르다.

상기 제 13 실시예에 따른 광 파이버에서, 순 실리카(굴절율 n_0)의 코어 영역(110)의 외부 직경(2a)은 $5.6\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역(120)의 굴절율(n_2)($<n_0$)을 기준으로 한 코어 영역(110)의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_0-n_2)/n_2$)는 0.53% 이다. 또한, 상기 제 13 실시예에서는 코어 영역(110)을 순 실리카(고의적으로 불순물이 첨가되어 있지 않은 실리카)로 구성하였지만, 이 코어 영역(110)에는 염소가 첨가된 실리카이어도 된다.

상기 제 13 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.057\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.048\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.04\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -15.7ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -7.2ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.2ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 7.1ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.4ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.04dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $52.2\mu\text{m}^2$ 이다.

추가하여, 상기 제 13 실시예에 따른 광 파이버는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 전송 손실이 0.17dB/km 이고, 코어 영역에 Ge가 첨가된 실시예(파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 전송 손실은 0.20dB/km 정도)와 비교하여, 보다 저손실의 광 파이버이다.

(제 14 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 14 실시예는 도 4에 도시된 제 3 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서 $50\mu\text{m}^2$ 정도의 실효 단면적을 갖는다. 단지, 상기 제 14 실시예의 프로파일 형상은 제 1 코어의 굴절율(n_1)이 반경 방향으로 균일인 점에서 제 3 실시예와 다르다.

상기 제 14 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 3 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($< n_2$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 14 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경($2a$)은 $5.5\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경($2b$)은 $23.7\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_3)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 0.59%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.06%이다.

상기 제 14 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.055\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.25\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -16.8ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -7.7ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.5ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 8.5ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 11.2ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.00002dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $50.1\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 15 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 15 실시예도, 도 4에 도시된 제 3 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 1450 nm 근방의 영 분산 파장을 갖는다. 단지, 상기 제 15 실시예의 프로파일 형상은 제 1 코어의 굴절율(n_1)이 반경 방향으로 균일한 점에서 제 3 실시예와 다르다.

상기 제 15 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 3 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($< n_2$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 15 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경($2a$)은 $4.8\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경($2b$)은 $15.1\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_3)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 0.65%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.06%이다.

상기 제 15 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.46(1.457)\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.060\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.060\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.07\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -20.2ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -11.1ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -0.6ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 5.7ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 8.7ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.00006dB 이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $45.3\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 16 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 16 실시예는 도 6에 도시된 제 5 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 갖지만, 제 2 코어의 굴절율(n_2)이 클래드 영역의 굴절율(n_4)보다도 높게 설정되어 있는 점, 및 제 1 코어의 굴절율 프로파일의 형상이 a계 분포(도 5에 도시된 바와 같은 돔 형상)인 점에서, 상기 제 5 실시예와 다르다.

상기 제 16 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 5 실시예와 마찬가지로, 최대 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($< n_3$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 16 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.7\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $13.4\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $22.4\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.60%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_4)/n_4$)는 0.05%, 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.11%이다.

상기 제 16 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.47\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.37\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -21.1ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -12.1ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -1.3ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 5.1ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 8.4ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.02dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $62.6\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 17 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 17 실시예는 도 4에 도시된 제 3 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 신호 광 파장보다도 긴 컷오프 파장을 갖는다.

상기 제 17 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 3 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($< n_2$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 17 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $7.5\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $29.0\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_3)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_3)/n_3$)는 0.61%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_3)/n_3$)는 0.10%이다.

상기 제 17 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.40\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.071\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.059\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.78\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -17.4ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -7.7ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 3.5ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.7ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 12.6ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.00002dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $60.3\mu\text{m}^2$ 이다.

계속해서, 도 6 및 도 7에 도시된 바와 같이 코어 영역상기 제 1 내지 제 3 코어로 구성된 3중 구조의 광 파이버에 관해서, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프가 $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하인 저분산 슬로프를 갖는 복수의 실시예에 관해서 이하 설명한다.

(제 18 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 18 실시예는 도 6에 도시된 제 5 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다.

상기 제 18 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 5 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($= n_2$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 18 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $5.5\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $22.8\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $34.6\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차(Δ_1)($= (n_1 - n_4)/n_4$)는 0.48%, 제 2 코어의 비굴절율 차는 $n_2 = n_4$ 로 설정되어 있기 때문에 0%, 제 3 코어의 비굴절율 차(Δ_3)($= (n_3 - n_4)/n_4$)는 0.12%이다.

상기 제 18 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.41\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.058\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.040\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.75\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -16.5ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -7.5ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.1ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 6.8ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 8.6ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.2dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $57.1\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 19 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 19 실시예도, 도 6에 도시된 제 5 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다. 또한, 해당 제 19 실시예의 굴절율 프로파일은 제 2 코어의 굴절율(n_2)이 클래드 영역의 굴절율(n_4)보다도 높게 설정되어 있는 점에서, 상기 제 5 실시예나 상술의 제 18 실시예와 다르다.

상기 제 19 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 5 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($< n_3$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 19 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.2\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $19.9\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $28.4\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차(Δ_1)($= (n_1 - n_4)/n_4$)는 0.44%, 제 2 코어의 비굴절율 차(Δ_2)($= (n_2 - n_4)/n_4$)는 0.01%, 제 3 코어의 비굴절율 차(Δ_3)($= (n_3 - n_4)/n_4$)는 0.13%이다.

상기 제 19 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.38\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.047\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.52\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -14.5ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -5.4ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 4.4ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.4ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 11.7ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.07dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $64.5\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 20 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 20 실시예는 도 7에 도시된 제 6 실시예와 마찬가지로, 디프레스트 클래드 구조의 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다. 또한, 해당 제 20 실시예의 굴절율 프로파일도 상술의 제 19 실시예와 마찬가지로 제 2 코어의 굴절율(n_2)이 클래드 영역의 굴절율(n_4)보다도 높게 설정되어 있다.

상기 제 20 실시예에 따른 광 파이버에서, 코어 영역은 상술의 제 6 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어를 구비한다. 또한, 클래드 영역은 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_5)($< n_3$)을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($< n_3$, $> n_5$)을 갖는 외측 클래드를 구비하고, 이들 내측 및 외측 클래드에 의해 디프레스트 클래드 구조가 구성되어 있다.

또한, 상기 제 20 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $5.6\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $19.7\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $28.1\mu\text{m}$, 내측 클래드의 외부 직경(2d)은 $42.0\mu\text{m}$ 이다. 또한, 외측 클래드의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.55%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_4)/n_4$)는 0.01%, 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.16%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_5=(n_5-n_4)/n_4$)는 -0.05% 이다.

상기 제 20 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.40\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.059\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.043\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.59\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -15.8ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -6.9ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.7ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 7.4ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.5ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.001dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $50.4\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 21 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 21 실시예는 도 6에 도시된 제 5 실시예와 같은 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다.

상기 제 21 실시예에 따른 광 파이버는 상술의 제 5 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($= n_2$)을 갖는 클래드 영역을 구비한다.

또한, 상기 제 21 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.1\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $17.8\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $25.4\mu\text{m}$ 이다. 또한, 클래드 영역의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.45%, 제 2 코어의 비굴절율 차는 $n_2=n_4$ 로 설정되어 있기 때문에 0%, 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.14% 이다.

상기 제 21 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.40\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.057\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.046\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.44\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -15.2ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -6.5ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.7ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 7.5ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 9.8ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.1 dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $64.4\mu\text{m}^2$ 이다.

(제 22 실시예)

본 발명에 따른 광 파이버의 제 22 실시예는 도 7에 도시된 제 6 실시예와 마찬가지로, 디프레스트 클래드 구조의 굴절율 프로파일을 가짐과 동시에, 저분산 슬로프를 갖는 광 파이버이다. 또한, 해당 제 22 실시예의 굴절율 프로파일로서는 상술의 제 20 실시예와는 반대로 제 2 코어의 굴절율(n_2)이 클래드 영역의 굴절율(n_4)보다도 낮게 설정되어 있다.

상기 제 22 실시예에 따른 광 파이버에서, 코어 영역은 상술의 제 6 실시예와 마찬가지로, 굴절율(n_1)을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_2)($< n_1$)을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_3)($> n_2$, $< n_1$)을 갖는 제 3 코어를 구비한다. 또한, 클래드 영역은 제 3 코어의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_5)($< n_3$)을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 또한 굴절율(n_4)($< n_3$, $> n_5$)을 갖는 외측 클래드를 구비하고, 이들 내측 및 외측 클래드에 의해 디프레스트 클래드 구조가 구성되어 있다.

또한, 상기 제 22 실시예에 따른 광 파이버에서, 제 1 코어의 외부 직경(2a)은 $6.0\mu\text{m}$, 제 2 코어의 외부 직경(2b)은 $19.7\mu\text{m}$, 제 3 코어의 외부 직경(2c)은 $30.0\mu\text{m}$, 내측 클래드의 외부 직경(2d)은 $44.8\mu\text{m}$ 이다. 또한, 외측 클래드의 굴절율(n_4)을 기준으로 한 제 1 코어의 비굴절율 차($\Delta_1=(n_1-n_4)/n_4$)는 0.46%, 제 2 코어의 비굴절율 차($\Delta_2=(n_2-n_4)/n_4$)는 -0.05%, 제 3 코어의 비굴절율 차($\Delta_3=(n_3-n_4)/n_4$)는 0.16%, 내측 클래드의 비굴절율 차($\Delta_5=(n_5-n_4)/n_4$)는 -0.05%이다.

상기 제 22 실시예에 따른 광 파이버의 영 분산 파장은 $1.39\mu\text{m}$ 이고, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에는 상기 영 분산 파장이 1개만 존재하고 있다. 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프는 $0.052\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프는 $0.023\text{ps/nm}^2/\text{km}$, 컷오프 파장은 $1.66\mu\text{m}$ 이다. 또한, 적어도 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있으며, 구체적으로는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -14.4ps/nm/km , 파장 $1.30\mu\text{m}$ 에서의 분산이 -5.7ps/nm/km , 파장 $1.45\mu\text{m}$ 에서의 분산이 2.8ps/nm/km , 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산이 5.9ps/nm/km , 파장 $1.60\mu\text{m}$ 에서의 분산이 7.0ps/nm/km 이다. 또한, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.3dB이고, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 $55.6\mu\text{m}^2$ 이다.

도 11은 상술의 제 1 내지 제 13 실시예 각각에 관계되는 광 파이버의 여러 가지 특성을 정리한 표이다. 또한, 도 12는 상술의 제 14 내지 제 22 실시예 각각에 따른 광 파이버의 여러 가지 특성을 정리한 표이다. 이들의 표에 나타난 바와 같이, 제 1 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버는 어느 것이나, 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위에 영 분산 파장이 1개만 존재하고, 그 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위에 존재하고 있다. 특히, 제 3, 제 4, 제 6 내지 제 9, 제 11 내지 제 14 및 제 17 내지 제 22 실시예에서는 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.43\mu\text{m}$ 의 범위 내에 있고, 제 2, 제 5, 제 15 및 제 16 실시예에서는 영 분산 파장은 파장 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 크고 또한 $1.55\mu\text{m}$ 이하의 범위 내에 있다. 어느 것의 실시예나, 영 분산 파장에서의 분산 슬로프의 절대치는 $0.10\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하이고, 컷오프 파장은 $1.3\mu\text{m}$ 이하이다. 따라서, 이들 어느 것의 광 파이버도 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에는 영 분산 파장이 존재하지 않는 한편, 이들 각 파장 대역에서의 분산도 작게 억제된 싱글 모드이기 때문에, 복수의 파장 대역을 이용한 광 통신에 적합하다. 또한, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, 제 1, 제 2, 제 6, 제 13 내지 제 15 및 제 18 내지 제 22 실시예는 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 슬로프가 $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하, 특히 제 18 내지 제 22 실시예는 더욱 낮은 분산 슬로프를 갖는다.

또한, 제 1 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버는 어느 것이나, 파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서 분산 슬로프가 단조롭게 변화하고 있고, 파장 $1.3\mu\text{m}$ 및 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산 절대치가 12ps/nm/km 이하이다. 따라서, 이들 어느 하나의 광 파이버도 $1.3\mu\text{m}$ 파장대 및 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산 절대치가 종래의 $1.3\mu\text{m}$ 파장대에 영 분산 파장을 갖는 표준 싱글 모드 광 파이버의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산치(17ps/nm/km 정도)와 비교하여 충분히 작다. 가령, 광 전송 시스템 전체로서, 상기 표준 싱글 모드 광 파이버의 $1.55\mu\text{m}$ 파장대에서의 분산치(17ps/nm/km 정도)까지 허용 가능하면, 제 1 내지 제 22 실시예 각각에 관계되는 광 파이버는 어느 것이나, 신호 광 파장 대역이 $1.2\mu\text{m}$ 내지 $1.7\mu\text{m}$ 의 범위인 광 통신에서의 이용에 적합하다.

또한, 제 1 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버는 어느 것이나, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절 손실이 1턴당 0.5dB 이하, 특히, 제 1 내지 제 6, 제 11, 제 13 내지 제 17, 제 19 및 제 20 실시예에서는 관계되는 굴절 손실은 0.06dB 이하이고, 케이블화 등에 기인하는 손실 증가를 효과적으로 억제할 수 있는 점에서 바람직하다. 또한, 제 1 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버는 어느 것이나 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})이 $45\mu\text{m}^2$ 이상, 특히, 제 1, 제 3 내

지 제 14 및 제 16 내지 제 22 실시예의 실효 단면적(A_{eff})은 $49\mu m^2$ 를 초과하고 있고, 종래의 분산 시프트 광 파이버의 실효 단면적과 비교하여 동등이거나 그 이상이다. 이 때문에, 해당 광 파이버중을 전파하는 광의 단위 단면적당의 강도가 작아지기 때문에, 4광파 혼합 등의 비선형 광학 현상의 발생을 효과적으로 억제된다.

또한, 도 2b, 도 3 내지 도 10에 도시된 광 파이버의 굴절율 프로파일(150 내지 950)은 상술의 제 13 실시예를 제외하고 순 실리카(고의적으로 불순물이 첨가되어 있지 않은 실리카)의 기준 영역(클래드 영역(120), 또는 상기 클래드 영역(120)이 디프레스트 클래드 구조를 갖는 경우에는 외측 클래드)의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최대치가 1% 이하이고 최소치가 -0.5% 이상이다. 제 13 실시예에서는 클래드 영역(120)에 불소를 첨가함으로써, 순 실리카의 코어 영역과 클래드 영역과의 굴절율의 차를 상대적으로 크게 한 구성을 구비하지만, 이 실시예에서도 클래드 영역(120)에 대한 코어 영역(110)의 비굴절율 차의 최대치는 1% 이하이다. 고굴절율 영역은 예를 들면 Ge 원소가 첨가됨으로써 실현되지만, 그 비굴절율 차는 1% 이하이기 때문에, 해당 광 파이버의 제조(불순물 첨가에 의한 굴절율 제어)가 비교적 용이하고, 또한, 전송 손실이 작게 된다. 한편, 저굴절율 영역은 예를 들면 F 원소가 첨가됨으로써 실현되지만, 그 비굴절율 차는 -0.5% 이상이기 때문에, 이 점에서도 해당 광 파이버의 제조는 용이하다.

도 13은 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 분산 특성을 도시하는 그래프이다. 이 그래프에 도시된 바와 같이, 파장 $1.30\mu m$ 내지 $1.55\mu m$ 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 증가하고 있다. 또한, 도 14 및 도 15는 탈수 처리가 불충분한 경우와 충분한 경우의 제 1 실시예에 따른 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프이다. 이 그래프에 도시된 바와 같이, 파장 $1.38\mu m$ 에서 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가가 인정된다. 상기 도 14에 도시된 바와 같은 전송 손실 특성을 갖는 광 파이버에서는 탈수 처리가 충분히 행하여지지 않고 OH기의 함유량이 많기 때문에, OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가는 $0.5dB/km$ 정도이다. 한편, 도 15에 도시된 바와 같은 전송 손실 특성을 갖는 광 파이버에서는 탈수 처리가 충분히 행하여져 OH기의 함유량이 저감되어 있기 때문에, OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가는 $0.01dB/km$ 정도로 억제되고 있다. 또한, 이 파장 대역을 신호 광 파장 대역으로서 이용하는 경우에는 영 분산 파장을 $1.45\mu m$ 보다도 크고 또한 $1.55\mu m$ 이하의 범위 내에 설정할 수 있다. 제 2 내지 제 12 및 제 14 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버 각각의 파장에 대한 분산 특성 및 전송 손실 특성도 같다.

또한, 도 16은 탈수 처리가 불충분한 제 13 실시예에 광 파이버의 파장에 대한 전송 손실 특성을 도시하는 그래프이다. 상기 제 13 실시예에서는 탈수 처리가 충분하게 행하여지지 않는 경우, OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가(파장 $1.38\mu m$)는 $0.3dB/km$ 이다. 단지, 상기 제 13 실시예의 경우도, 탈수 처리가 충분히 행하여지면, 도 14에 도시된 바와 같이 파장 $1.3\mu m$ 에서의 전송 손실의 증가(파장 $1.38\mu m$)를 $0.01dB/km$ 이하로 억제한다.

또한, 본 발명에 따른 광 파이버는 상기 각 실시예에 한정되는 것이 아니라 여러 가지의 변형이 가능하고, 예를 들면, 본 발명의 범위 내에서 그 외에도 설계가 가능하다.

도 17a는 주로 제 18 내지 제 22 실시예에 관해서, 파장 $1.55\mu m$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})과 분산 슬로프의 관계를 도시하는 그래프이다. 또한, 이 그래프중, P1, P5, P7, P9, P10, P18 내지 P22는 제 1, 제 5, 제 7, 제 9, 제 10 및 제 18 내지 제 22 실시예의 실효 단면적(A_{eff})과 분산 슬로프의 관계를 도시하는 점이다.

이 그래프에서 알 수 있듯이, 도 6에 도시된 바와 같은 굴절율 프로파일을 갖는 광 파이버(제 18 내지 제 22 실시예)의 경우, 파장 $1.55\mu m$ 에서의 분산 슬로프를 특히 낮게 할 수 있다. 또한, 이들 제 18 내지 제 22 실시예에 따른 광 파이버에서는 파장 $1.55\mu m$ 에서의 실효 단면적(A_{eff})이 $49\mu m^2$ 보다도 커지고 있다.

또한, 도 17b는 주된 실시예에 관해서, 파장 $1.55\mu m$ 에서의 컷오프 파장(λ_c)과 직경 32mm로 굴절되었을 때의 1턴당의 굴절 손실과의 관계를 도시하는 그래프이다. 또한, 이 그래프에서, P1, P3, P4, P6, P7, P10, P14 내지 P16은 제 1, 제 3, 제 4, 제 6, 제 7, 제 10 및 제 14 내지 제 16 실시예의 컷오프 파장(λ_c)과 굴절 손실의 관계를 도시하는 도이다. 또한, 이 그래프 중, 사선부분은 도 6에 도시된 굴절율 프로파일과 유사한 굴절율 프로파일을 갖는 종래의 광 파이버에 관해서, 컷오프 파장(λ_c)과 굴절 손실의 관계를 도시하는 점이 집중적으로 플롯된 영역이다. 따라서, 관계되는 영역(사선 부분)을 피하기 위해서는 즉, 파장 $1.55\mu m$ 에서, 32mm에서의 굴절 손실을 $1.0dB/턴$, 바람직하게는 $0.06dB/턴$ 이하로 하기 위해서는 컷오프 파장(λ_c)은 $1.05\mu m$ 이상, 또한 $1.3\mu m$ 이상인 것이 바람직하다.

다음에, 본 발명에 따른 광 전송 시스템의 각 실시예에 관해서 설명한다. 도 18a는 본 발명에 따른 광 전송 시스템의 일 실시예의 개략 구성을 도시하는 도면이다. 이 도에 도시된 광 전송 시스템은 송신기(11, 12), 광 전송로(21, 22), 합파기(30), 광 파이버(40), 분파기(50), 광 전송로(61, 62), 및 수신기(71, 72)를 구비하고 있다.

송신기(11)는 1.3 μm 파장대의 신호 광(제 1 광)을 출력하고, 광 전송로(21)는 송신기(11)로부터 출력된 1.3 μm 파장대의 신호 광을 합파기(30)로 유도하기 위한 전송 매체이고, 예를 들면, 1.3 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 표준 싱글 모드 광 파이버이다. 송신기(12)는 1.55 μm 파장대의 신호 광(제 2 광)을 출력하고, 광 전송로(22)는 송신기(12)로부터 출력된 1.55 μm 파장대의 신호 광을 합파기(30)에 유도하기 위한 전송 매체이고, 예를 들면, 1.55 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 분산 시프트 광 파이버이다.

합파기(30)는 광 전송로(21, 22)를 전파하여 온 1.3 μm 파장대의 신호 광 및 1.55 μm 파장대의 신호 광을 합파하고, 이 합파 광으로 광 파이버(40)에 출력한다. 광 파이버(40)는 합파기(30)에 의해 합파된 1.3 μm 파장대의 신호 광 및 1.55 μm 파장대의 신호 광을 분파기(50)를 향하여 전송한다. 분파기(50)는 광 파이버(40)를 전파하여 온 1.3 μm 파장대의 신호 광 및 1.55 μm 파장대의 신호 광을 분파한다.

상기 광 파이버(40)는 상술된 구조를 갖는 본 발명에 따른 광 파이버로서, 파장 1.20 μm 내지 1.60 μm 의 범위에 영 분산 파장이 1개만 존재하고, 그 영 분산 파장은 파장 1.37 μm 내지 1.50 μm 의 범위(바람직하게는 파장 1.37 μm 내지 1.43 μm 의 범위 또는 1.45 μm 보다도 크게 1.50 μm 이하의 범위)에 있다. 또한, 광 파이버(40)에서, 상기 영 분산 파장에서의 분산 슬로프의 절대치는 0.10ps/nm²/km 이하(바람직하게는 파장 1.55 μm 에서 0.06ps/nm²/km 이하)이다. 또한, 보다 바람직한 양태로서, 광 파이버(40)는 파장 1.30 μm 내지 1.55 μm 의 범위에서 분산 슬로프는 단조롭게 변화하고 있고, 파장 1.3 μm 및 파장 1.55 μm 에서의 분산 절대치는 어느 것이나 12ps/nm/km 이하, 직경 32mm로 감겨졌을 때의 파장 1.55 μm 에서의 굴절 손실은 1턴당 0.5dB 이하(바람직하게는 0.06dB 이하), 파장 1.55 μm 에서의 실효 단면적(A_{eff})은 45 μm^2 이상(49 μm^2 보다도 큼), 또는 파장 1.38 μm 에서의 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가는 0.1dB/km 이하이다.

광 전송로(61)는 분파기(50)에 의해 분파된 1.3 μm 파장대의 신호 광을 수신기(71)에 유도하기 위한 전송 매체이고, 예를 들면, 1.3 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 표준 싱글 모드 광 파이버이다. 수신기(71)는 광 전송로(61)를 전파하여 온 1.3 μm 파장대의 신호 광을 수신한다. 한편, 광 전송로(62)는 분파기(50)에 의해 분파된 1.55 μm 파장대의 신호 광을 수신기(72)에 유도하기 위한 전송 매체이고, 예를 들면, 1.55 μm 파장대에 영 분산 파장을 갖는 분산 시프트 광 파이버이다. 수신기(72)는 광 전송로(62)를 전파하여 온 1.55 μm 파장대의 신호 광을 수신한다.

상기 실시예에 따른 광 전송 시스템에 의하면, 송신기(11)로부터 출력되어 광 전송로(21)를 거쳐서 합파기(30)에 도달한 1.3 μm 파장대의 신호 광과, 송신기(12)로부터 출력되어 광 전송로(22)를 거쳐서 합파기(30)에 도달한 1.55 μm 파장대의 신호 광은 합파기(30)에 의해 합파되고, 상기 합파광이 광 파이버(40)를 전파하여 분파기(50)에 도달한다. 그리고, 분파기(50)에 도달한 합파광은 분파기(50)에 의해 1.3 μm 파장대의 신호 광과 1.55 μm 파장대의 신호 광에 분파된다. 분파된 1.3 μm 파장대의 신호 광은 광 전송로(61)를 거쳐서 수신기(71)에 도달하고, 1.55 μm 파장대의 신호 광은 광 전송로(62)를 거쳐서 수신기(72)에 도달한다.

이와 같이, 이 실시예의 광 전송 시스템으로 사용되고 있는 광 파이버(40)는 상술과 같이 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대의 쌍방에서 적합한 광 통신을 실현하는 구조를 구비하고 있기 때문에, 상기 광 파이버(40)가 적용된 해당 광 전송 시스템은 대용량의 통신을 가능하게 한다.

또한, 본 발명에 따른 광 파이버는 상기 실시예에 한정되는 것이 아니라 여러 가지의 변형이 가능하다. 예를 들면, 합파기(30)와 분파기(50) 사이에 배치된 전송 매체인 광 파이버(40)는 도 18b에 도시된 바와 같이, 복수의 광 파이버(40a 내지 40c)로 구성되어도 된다.

산업상 이용 가능성

이상과 같이 본 발명에 의하면, 해당 광 파이버에서는 OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가가 인정되는 파장 1.38 μm 를 포함하는 파장 1.37 μm 내지 1.50 μm 의 범위, 바람직하게는 파장 1.37 μm 내지 1.43 μm 또는 파장 1.45 μm 보다도 크고 또한 1.50 μm 이하의 범위에 유일한 영 분산 파장을 갖고, 이 파장 범위를 삽입하는 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대 근방에 영 분산 파장은 존재하지 않는다. 따라서, 이들 파장 대역을 신호 광 파장 대역과 이용하는 경우, 의도적인 분산의 발생에 의해 4광파 혼합 등의 비선형 광학 현상을 효과적으로 억제한다. 또한, 설정된 영 분산 파장에서의 분산 슬로프의 절대치는 0.10ps/nm²/km 이하(바람직하게는 파장 1.55 μm 에서 0.06ps/nm²/km 이하)이므로, 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대 각각에서의 분산은 균일화된다. 이러한 광 파이버를 광 전송 시스템의 전송로에 적용함으로써, 1.3 μm 파장대 및 1.55 μm 파장대의 쌍방에서 양호한 광 통신이 가능하게 된다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

삭제

청구항 2.

삭제

청구항 3.

삭제

청구항 4.

삭제

청구항 5.

삭제

청구항 6.

삭제

청구항 7.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

파장 $1.3\mu\text{m}$ 에서의 분산의 절대치와, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산의 절대치는 어느 것이나 12ps/nm/km 이하인 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 8.

제 7 항에 있어서, 파장 $1.3\mu\text{m}$ 에서의 분산의 절대치와, 파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서의 분산의 절대치는 어느 것이나 6ps/nm/km 이상인 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 9.

삭제

청구항 10.

삭제

청구항 11.

삭제

청구항 12.

삭제

청구항 13.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

파장 $1.38\mu\text{m}$ 에서, OH 흡수에 기인한 전송 손실의 증가량은 0.1dB/km 이하인 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 14.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

순 실리카의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최대치가 1% 이하로서 최소치가 -0.5% 이상인 굴절율 프로파일을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 15.

제 14 항에 있어서, 순 실리카의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최소치가 -0.2% 이상인 굴절율 프로파일을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 16.

제 15 항에 있어서, 순 실리카의 굴절율을 기준으로 한 비굴절율 차의 최소치가 -0.15% 보다도 큰 굴절율 프로파일을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 17.

삭제

청구항 18.

삭제

청구항 19.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

소정 축을 따라서 신장한 소정의 굴절율을 갖는 코어 영역과,

상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비한 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 20.

제 19 항에 있어서, 상기 클래드 영역은, 상기 코어 영역의 외주에 접하고 또한 상기 코어 영역보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 코어 영역보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드를 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 21.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

소정 축을 따라서 신장한 영역으로서, 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 또한 상기 제 1 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 2 코어로 이루어지는 코어 영역과,

상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비하는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 22.

제 21 항에 있어서, 상기 클래드 영역은, 상기 제 2 코어의 외주에 접하고 또한 상기 제 2 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드를 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 23.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

소정 축을 따라서 신장한 영역으로서, 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 상기 제 2 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 3 코어로 이루어지는 코어 영역과,

상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비한 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 24.

제 23 항에 있어서, 상기 제 2 코어의 굴절율은 상기 클래드 영역의 굴절율과 같거나 또는 높은 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 25.

제 23 항에 있어서, 상기 클래드 영역은, 상기 제 3 코어의 외주에 접하고 또한 상기 제 3 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 3 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드를 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 26.

제 25 항에 있어서, 상기 제 2 코어의 굴절율은 상기 외측 클래드의 굴절율과 같거나 또는 높은 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 27.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

소정 축을 따라서 신장한 영역으로서, 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 2 코어로 이루어지는 코어 영역과,

상기 코어 영역의 외주에 설치된 클래드 영역을 구비한 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 28.

제 27 항에 있어서, 상기 클래드 영역은, 상기 제 2 코어의 외주에 접하고 또한 상기 제 2 코어보다 낮은 굴절율을 갖는 내측 클래드와, 상기 내측 클래드의 외주에 설치되고 상기 내측 클래드보다도 높고 또한 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 외측 클래드를 갖는 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 29.

파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖는 광 파이버로서, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버에 있어서,

소정 축을 따라서 신장한 영역으로서, 소정의 굴절율을 갖는 제 1 코어와, 상기 제 1 코어의 외주에 설치되고 상기 제 1 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 2 코어와, 상기 제 2 코어의 외주에 설치되고 상기 제 2 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 제 3 코어와, 상기 제 3 코어의 외주에 설치되고 상기 제 3 코어보다도 높은 굴절율을 갖는 제 4 코어로 이루어지는 코어 영역과,

상기 코어 영역의 외주에 설치되고, 상기 제 4 코어보다도 낮은 굴절율을 갖는 클래드를 구비한 것을 특징으로 하는, 광 파이버.

청구항 30.

$1.3\mu\text{m}$ 파장대의 제 1 광을 출력하는 제 1 송신기와,

$1.55\mu\text{m}$ 파장대의 제 2 광을 출력하는 제 2 송신기와,

상기 제 1 송신기로부터 출력된 상기 제 1 광과, 상기 제 2 송신기로부터 출력된 상기 제 2 광을 합파(合波)하는 합파기와,

한 단부가 상기 합파기에 광학적으로 접속되고, 상기 합파기에 의해 합파된 상기 제 1 광 및 상기 제 2 광 각각을 전송하는 광 파이버로서, 상기 광 파이버는 파장 $1.20\mu\text{m}$ 내지 $1.60\mu\text{m}$ 의 범위 내에 영(zero) 분산 파장을 1개만 갖고, 상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 내지 $1.50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 존재함과 동시에 상기 영 분산 파장에서 양인 분산 슬로프를 갖는, 상기 광 파이버를 구비한, 광 전송 시스템.

청구항 31.

삭제

청구항 32.

삭제

청구항 33.

삭제

청구항 34.

삭제

청구항 35.

삭제

청구항 36.

제 30 항에 있어서,

상기 영 분산 파장은 파장 $1.37\mu\text{m}$ 이상 $1.43\mu\text{m}$ 이하의 범위에 존재하는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 37.

제 30 항에 있어서,

상기 영 분산 파장은 파장 $1.45\mu\text{m}$ 보다도 크고 또한 $1.50\mu\text{m}$ 이하의 범위에 존재하는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 38.

제 30 항에 있어서,

상기 분산 슬로프는 그 절대치가 $0.10\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하인 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 39.

제 30 항에 있어서,

파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 이하의 분산 슬로프를 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 40.

제 30 항에 있어서,

파장 $1.30\mu\text{m}$ 내지 $1.55\mu\text{m}$ 의 범위에서, 상기 분산 슬로프는 단조롭게 변화하는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 41.

제 30 항에 있어서,

파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, 직경 32mm 로 감겨졌을 때에 0.5dB/턴 이하가 되는 굴절 손실을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 42.

제 41 항에 있어서,

파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, 직경 32mm 로 감겨졌을 때에 0.06db/턴 이하가 되는 굴절 손실을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 43.

제 30 항에 있어서,

파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, $45\mu\text{m}^2$ 이상의 실효 단면적을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 44.

제 43 항에 있어서,

파장 $1.55\mu\text{m}$ 에서, $49\mu\text{m}^2$ 보다도 큰 실효 단면적을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 45.

제 30 항에 있어서,

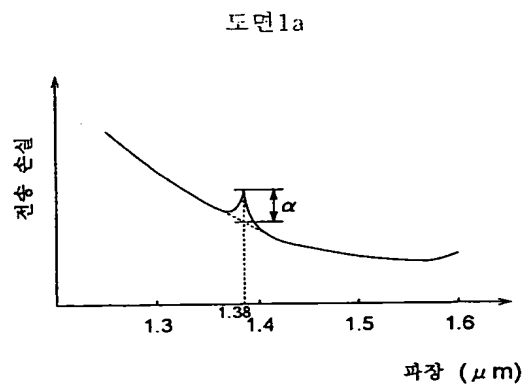
$1.05\mu\text{m}$ 이상의 컷오프 파장을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

청구항 46.

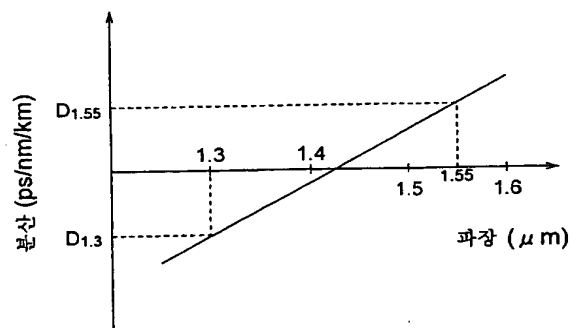
제 45 항에 있어서,

$1.30\mu\text{m}$ 이상의 컷오프 파장을 갖는 것을 특징으로 하는, 광 전송 시스템.

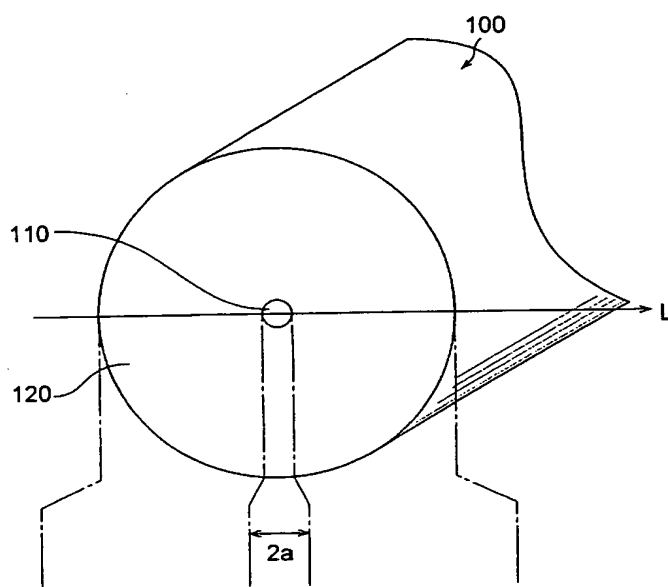
도면



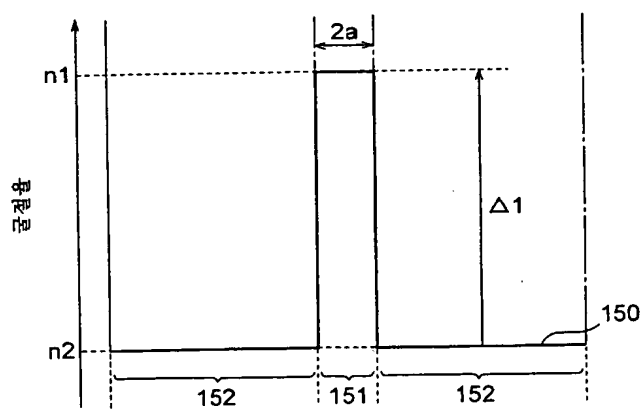
도면1b



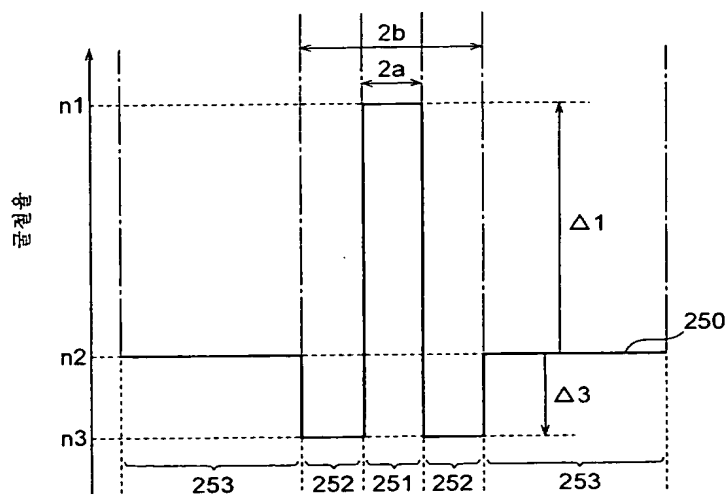
도면2a



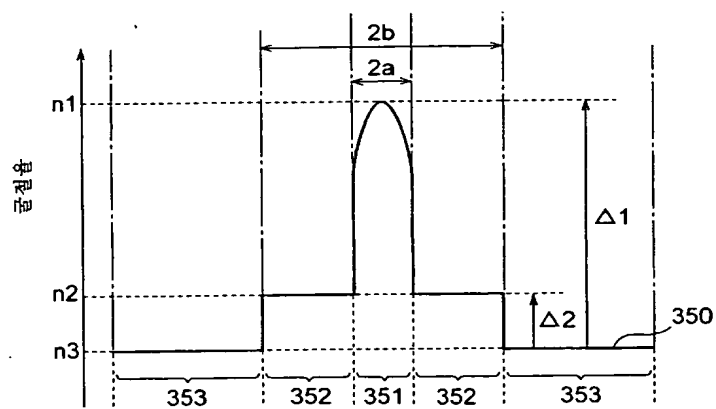
도면2b



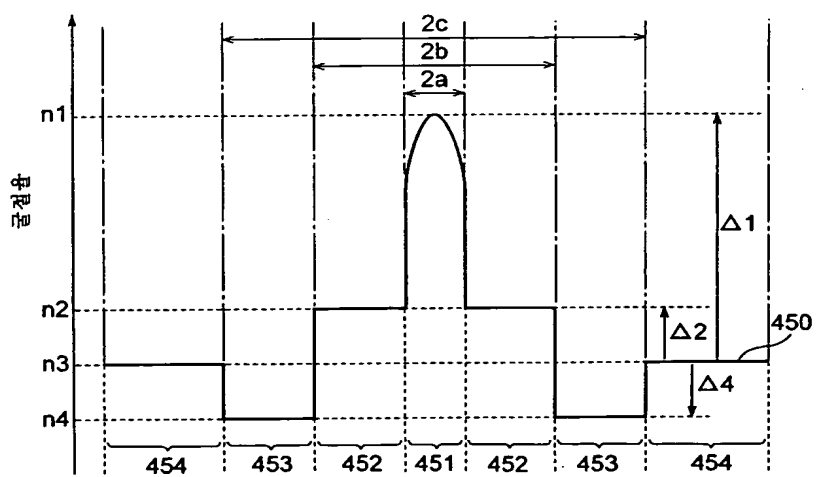
도면3



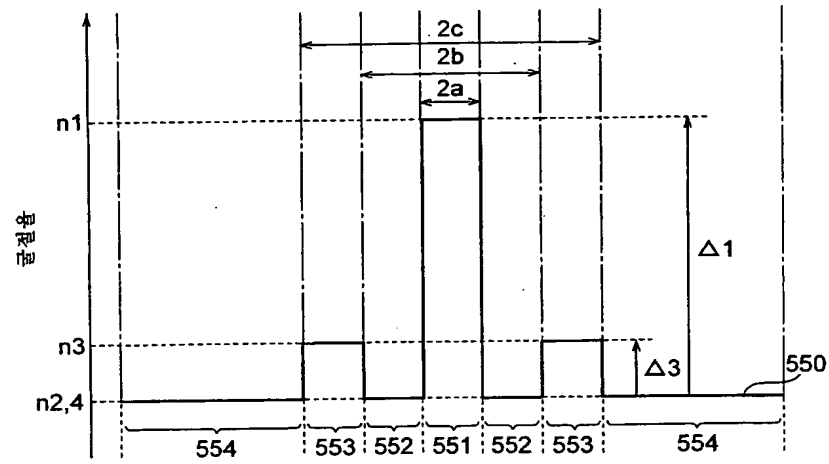
도면4



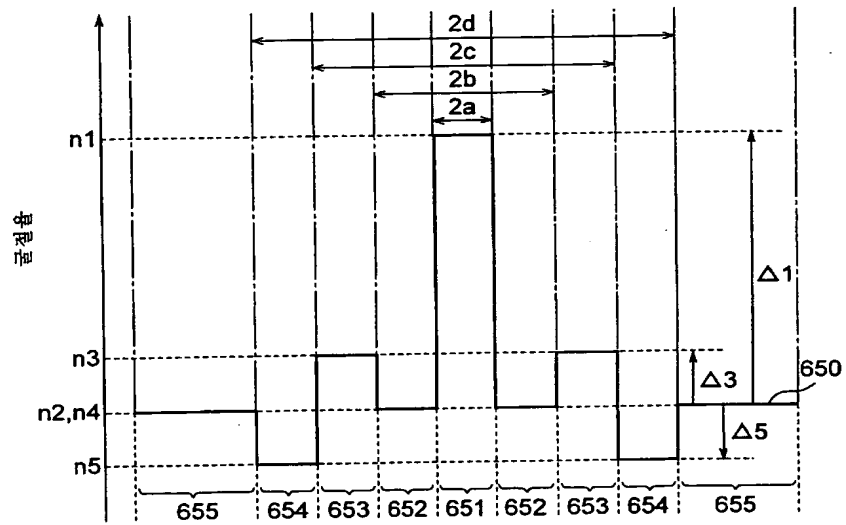
도면5



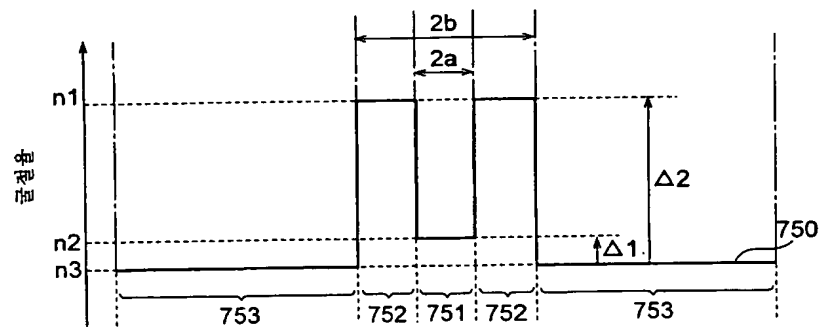
도면6



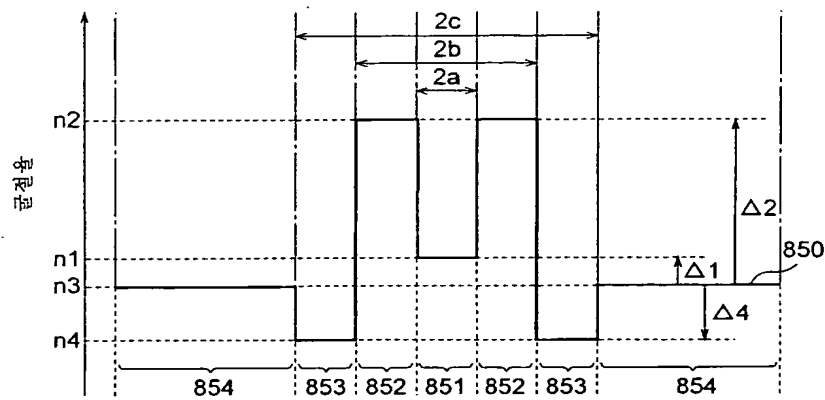
도면7



도면8



도면9



도면10

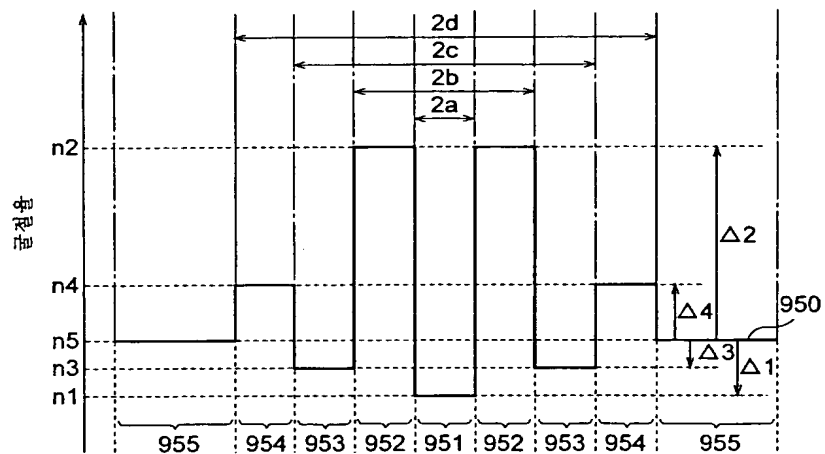


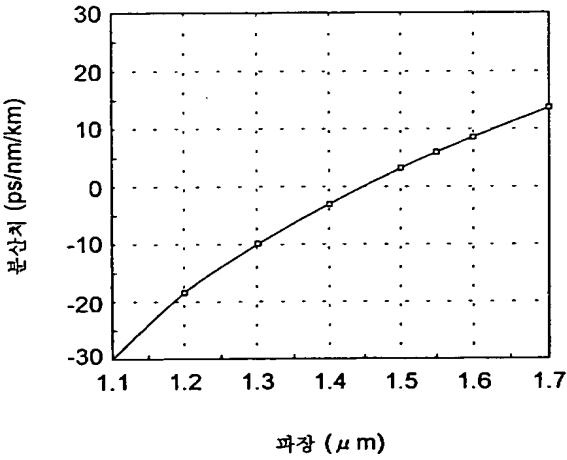
표 11

	제 1 실시예	제 2 실시예	제 3 실시예	제 4 실시예	제 5 실시예	제 6 실시예	제 7 실시예	제 8 실시예	제 9 실시예	제 10 실시예	제 11 실시예	제 12 실시예	제 13 실시예
영분산 파장 (μm)	1.44	1.46	1.42	1.41	1.48	1.42	1.41	1.42	1.42	1.44	1.42	1.41	1.41
영분산 파장에서의 분산 계수 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.080	0.053	0.079	0.081	0.064	0.056	0.075	0.084	0.077	0.070	0.080	0.088	0.057
파장 1.55 μm 에서의 분산 계수 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.054	0.049	0.070	0.070	0.064	0.052	0.061	0.068	0.061	0.058	0.065	0.071	0.048
컷오프 파장 (μm)	0.96	0.93	1.19	1.15	1.24	1.23	1.10	1.17	1.22	1.18	1.16	1.22	1.04
분산 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	-18.5	-18.5	-20.8	-20.3	-20.3	-16.4	-20.1	-22.9	-21.6	-21.5	-21.8	-22.5	-15.7
	-9.6	-10.1	-10.6	-9.9	-11.9	-7.9	-9.3	-11.1	-10.2	-10.8	-10.5	-10.6	-7.2
	0.6	-0.5	2.1	3.1	-1.9	1.6	3.0	2.4	2.2	0.7	2.3	3.4	2.2
	6.2	4.3	9.3	10.2	4.8	6.6	9.4	9.9	9.1	7.3	9.5	11.0	7.1
	8.8	6.7	12.8	13.7	8.0	9.2	12.4	13.2	12.1	10.1	12.7	14.5	9.4
파장 1.55 μm 에서의 각각 32nm에서의 분산 손실 (dB/원)	0.06	0.20	0.006	0.004	0.0008	0.02	0.3	0.2	0.2	0.03	0.005	0.4	0.04
실용 단면적 (μm^2)	49.1	47.2	63.6	62.0	53.9	57.1	67.3	79.1	73.5	59.6	62.6	92.7	52.2

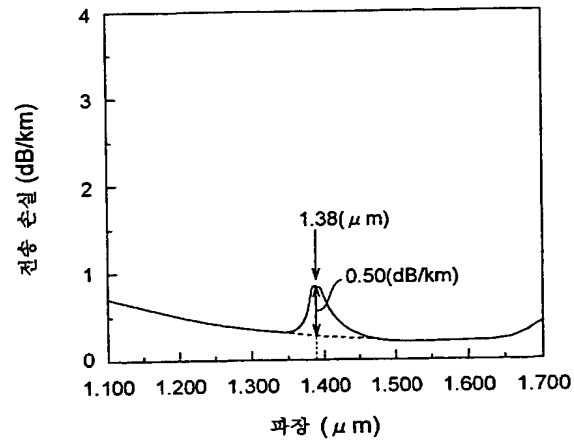
표 12

	계 14 실시예	계 15 실시예	계 16 실시예	계 17 실시예	계 18 실시예	계 19 실시예	계 20 실시예	계 21 실시예	계 22 실시예
영분산 파장 (μm)	1.41	1.46 (1.457)	1.47	1.40	1.41	1.38	1.40	1.40	1.39
영분산 파장에서의 분산 손실률 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.065	0.060	0.065	0.071	0.058	0.065	0.059	0.057	0.052
파장 1.55 μm 에서의 분산 손실률 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.055	0.060	0.065	0.059	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023
컷오프 파장 (μm)	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66
분산 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)									
파장 1.20 μm	-16.8	-20.2	-21.1	-17.4	-16.5	-14.5	-15.8	-15.2	-14.4
파장 1.30 μm	-7.7	-11.1	-12.1	-7.7	-7.5	-5.4	-6.9	-6.5	-6.7
파장 1.45 μm	2.5	-0.6	-1.3	3.5	2.1	4.4	2.7	2.7	2.8
파장 1.55 μm	8.5	5.7	5.1	9.7	6.8	9.4	7.4	7.5	5.9
파장 1.60 μm	11.2	8.7	8.4	12.6	8.6	11.7	9.5	9.8	7.0
파장 1.55 μm 에서의 리칭 32nm에서의 분산 손실 (dB/위)	0.00002	0.00006	0.02	0.00002	0.2	0.07	0.001	0.1	0.3
실효 단면적 (μm^2)	50.1	45.3	62.6	60.3	57.1	64.5	50.4	64.4	55.6

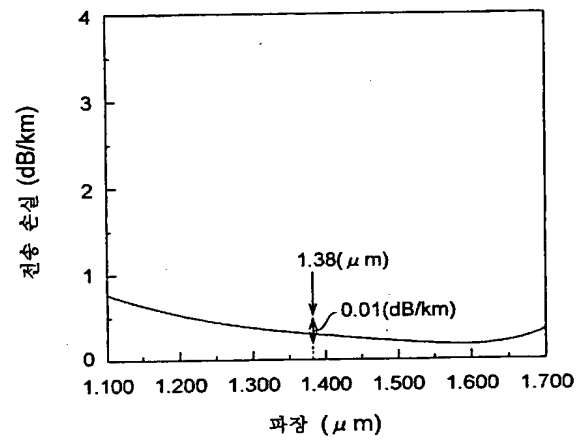
표 13



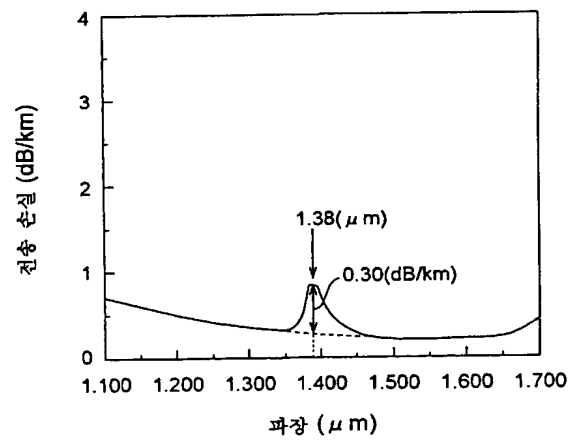
도면14



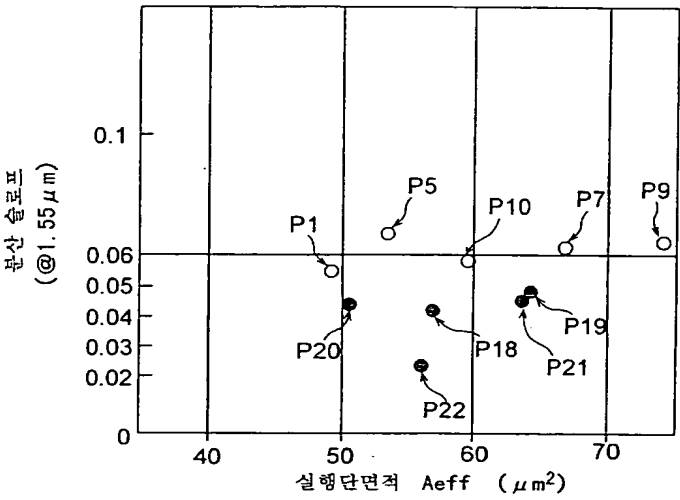
도면15



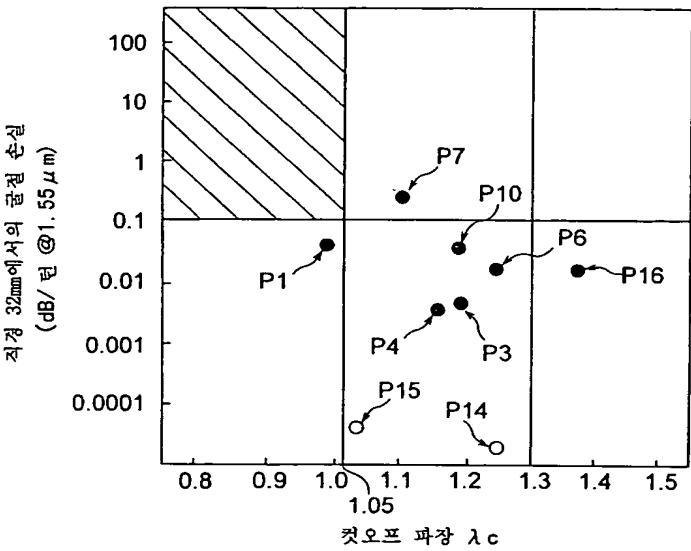
도면16



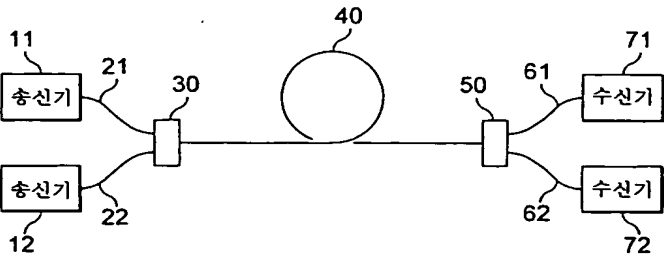
도면17a



도면17b



도면18a



도면18b

